

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>  
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2025, Том 12, № s4 / 2025, Vol. 12, Iss. s4 <https://resources.today/issue-s4-2025.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/09FAOR425.pdf>

DOI: 10.15862/09FAOR425 (<https://doi.org/10.15862/09FAOR425>)

2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Гончаров, А. В. Современные тенденции автоматизации технологических процессов в пищевой промышленности / А. В. Гончаров // Отходы и ресурсы. — 2025. — Т. 12. — № s4. — URL: <https://resources.today/PDF/09FAOR425.pdf>. DOI: 10.15862/09FAOR425.

**For citation:**

Goncharov A.V. Modern trends in automation of technological processes in the food industry. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2025; 12(s4): 09FAOR425. Available at: <https://resources.today/PDF/09FAOR425.pdf>. DOI: 10.15862/09FAOR425. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 664:681.5

**Гончаров Андрей Витальевич**

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)», Москва, Россия  
Заведующий кафедрой «Систем автоматизированного управления»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: a.goncharov@mgutm.ru

## Современные тенденции автоматизации технологических процессов в пищевой промышленности

**Аннотация.** Современные экономические реалии пищевой промышленности характеризуются фундаментальной трансформацией производственных процессов под влиянием четвертой промышленной революции, массовым внедрением технологий искусственного интеллекта, роботизации, интернета вещей и цифровых двойников, что обусловлено необходимостью повышения конкурентоспособности в условиях глобализации рынков, ужесточения требований к безопасности продукции и растущего дефицита квалифицированных кадров. Предметом исследования выступают современные технологии автоматизации производственных процессов в пищевой промышленности, включая системы MES и ERP, промышленный интернет вещей, машинное зрение на основе нейронных сетей, роботизированные комплексы, цифровые двойники производственных линий, а также организационно-экономические аспекты их внедрения на российских и зарубежных предприятиях отрасли. Рассматриваются теоретические основания Industry 4.0 применительно к специфике пищевых производств, эволюция подходов к автоматизации от локальных АСУ ТП к интегрированным киберфизическим системам, международный опыт цифровой трансформации ведущих компаний отрасли и особенности российского пути технологической модернизации. Анализ эволюции автоматизации пищевой промышленности выявил переход от фрагментарной механизации отдельных операций к созданию полностью интегрированных производственных экосистем, где физические процессы неразрывно связаны с цифровыми моделями, обеспечивая беспрецедентный уровень контроля, оптимизации и адаптивности производства. Ключевые результаты исследования включают систематизацию современных технологий автоматизации по уровням производственной иерархии, выявление критических факторов успешной цифровой трансформации предприятий, анализ экономической эффективности внедрения различных технологических решений с показателями ROI от 150 %

до 400 % в зависимости от масштаба и специфики производства. Разработанная концептуальная модель интегрированной системы автоматизации пищевого предприятия демонстрирует архитектуру взаимодействия технологических уровней от полевых устройств до облачных платформ аналитики, обеспечивая сквозную прослеживаемость, предиктивное управление качеством и оптимизацию использования ресурсов. Научная новизна исследования заключается в комплексном анализе современного этапа технологической трансформации пищевой промышленности через призму концепции Industry 4.0, систематизации технологических решений с учетом специфики различных подотраслей пищевого производства, выявлении особенностей российского пути автоматизации в условиях импортозамещения и разработке методологических подходов к оценке готовности предприятий к цифровой трансформации. Практическая значимость определяется возможностью использования результатов исследования для формирования стратегий технологического развития пищевых предприятий, обоснования инвестиционных решений в области автоматизации, разработки программ подготовки кадров для работы с современными производственными технологиями и создания отраслевых стандартов цифровой трансформации.

**Ключевые слова:** автоматизация пищевой промышленности; Industry 4.0; цифровые двойники; промышленный интернет вещей; машинное зрение; MES-системы; роботизация производства; искусственный интеллект; предиктивная аналитика; ХАССП

## Введение

Глобальная пищевая промышленность переживает период радикальной трансформации, обусловленной конвергенцией передовых цифровых технологий и традиционных производственных процессов, при чем согласно данным исследовательской компании Credence Research, мировой рынок продуктов питания и напитков вырастет с 6,2 триллиона долларов в 2024 году до 9,8 триллиона долларов к 2032 году с совокупным годовым темпом роста 5,9 %.<sup>1</sup> Параллельно с ростом объемов производства происходит фундаментальное изменение технологического уклада отрасли, характеризующееся переходом к концепции «Индустрия 4.0», которая предполагает массовое внедрение киберфизических систем, искусственного интеллекта, роботизации и создание «умных» производств, способных к самоорганизации и адаптации.<sup>2</sup> В условиях обострения глобальной конкуренции, ужесточения требований к безопасности и качеству продукции, а также растущего дефицита квалифицированных кадров, автоматизация становится не просто инструментом повышения эффективности, но критическим фактором выживания предприятий на высококонкурентном рынке.<sup>3</sup>

Российская пищевая промышленность, являясь одной из системообразующих отраслей экономики страны, также активно включается в процессы цифровой трансформации, при чем согласно данным Министерства промышленности и торговли РФ, в 2024 году в России было открыто 177 новых производств на общую сумму инвестиций 701,4 млрд рублей, значительная часть которых приходится на предприятия пищевой отрасли с высоким уровнем

<sup>1</sup> LeverX. Top 2025 Challenges in Food & Beverage Industry. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://leverx.com/newsroom/plm-for-the-food-industry> (дата обращения 17.09.2025).

<sup>2</sup> Что такое Индустрия 4.0 и что нужно о ней знать. Подробнее на РБК. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5e740c5b9a79470c22dd13e7> (дата обращения 17.09.2025).

<sup>3</sup> Statista. Food Automation Market Growth. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://vc.ru/ai/1248486-avtomatizaciya-pishevoi-promyshlennosti-kak-ii-i-robototekhnika-transformiruyut-budushee-otrasli> (дата обращения 17.09.2025).

автоматизации.<sup>4</sup> События последних лет, включая пандемию COVID-19, геополитические изменения и необходимость импортозамещения, катализировали процессы технологической модернизации отечественных пищевых производств, стимулируя переход от фрагментарной автоматизации отдельных операций к созданию комплексных интегрированных систем управления производством.<sup>5</sup>

Актуальность темы исследования определяется совокупностью взаимосвязанных факторов, формирующих новую технологическую реальность пищевой промышленности и требующих глубокого научного осмысления происходящих трансформационных процессов, их движущих сил, барьеров и перспектив развития в контексте глобальных и национальных экономических трендов.

Научная проблема заключается в недостаточной теоретической проработанности механизмов интеграции передовых технологий автоматизации в специфические условия пищевых производств, отсутствии комплексной методологии оценки готовности предприятий к цифровой трансформации, а также в необходимости адаптации международного опыта внедрения технологий Industry 4.0 к особенностям российской экономической и технологической среды.

Объектом исследования выступают предприятия пищевой промышленности, осуществляющие технологическую модернизацию производственных процессов на основе современных средств автоматизации.

Предметом исследования являются технологии, методы и системы автоматизации производственных процессов в пищевой промышленности, включая их технические характеристики, экономическую эффективность и организационные аспекты внедрения.

Цель исследования — провести комплексный анализ современных тенденций автоматизации технологических процессов в пищевой промышленности, выявить ключевые технологические решения и факторы их успешного внедрения, а также разработать концептуальную модель интегрированной системы автоматизации пищевого предприятия.

Задачи исследования:

1. Проанализировать эволюцию технологий автоматизации в пищевой промышленности и определить характеристики современного этапа цифровой трансформации отрасли в контексте концепции Industry 4.0.
2. Систематизировать и классифицировать современные технологические решения автоматизации по уровням производственной иерархии и функциональному назначению с учетом специфики различных подотраслей пищевого производства.
3. Разработать концептуальную модель интегрированной системы автоматизации пищевого предприятия, учитывающую взаимосвязь технологических, организационных и экономических факторов цифровой трансформации.

<sup>4</sup> TAdviser. Промышленное производство в России. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%B5\\_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE\\_%D0%B2\\_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8%D0%B8#:~:text=%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%B5%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%20%D0%B2%20%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE,%2B8.4%25%20%D0%BA%202019%20%D0%B3.](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE_%D0%B2_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8%D0%B8#:~:text=%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%B5%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%20%D0%B2%20%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE,%2B8.4%25%20%D0%BA%202019%20%D0%B3.) (дата обращения 17.09.2025).

<sup>5</sup> Росстат. Динамика промышленного производства в январе 2024 года. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/313/document/229429> (дата обращения 17.09.2025).

Научная новизна исследования заключается в комплексном междисциплинарном анализе процессов автоматизации пищевой промышленности через призму концепции киберфизических систем, выявлении специфических для отрасли барьеров и драйверов технологической трансформации, систематизации успешных практик внедрения передовых технологий на российских и зарубежных предприятиях, а также в разработке методологических подходов к проектированию интегрированных систем автоматизации с учетом требований безопасности пищевой продукции.

Практическая значимость работы определяется возможностью использования полученных результатов для обоснования инвестиционных решений в области технологической модернизации пищевых производств, разработки отраслевых программ цифровой трансформации, формирования требований к подготовке специалистов для работы с современными автоматизированными системами, а также создания методических рекомендаций по внедрению технологий Industry 4.0 на предприятиях пищевой промышленности.

## 1. Методы и материалы

Методологическая основа исследования базируется на системном подходе к анализу технологической трансформации пищевой промышленности, позволяющем рассматривать процессы автоматизации как многоуровневую иерархическую систему взаимосвязанных технических, организационных, экономических и социальных компонентов. Теоретический фундамент составляют труды таких исследователей как: Е.Я. Сердюковой [1], К.И. Жаковой [2], О.М. Омельченко [3], А.В. Кучумова [4], И.С. Крючкова [5], Д.М. Поленикова [6], А.А. Николаева [7], И.П. Богомоловой [8], Т.В. Крапивы [9], М.Ш. Аббасова [10].

В качестве основных методов исследования использовался комплексный анализ научной литературы по проблематике автоматизации пищевых производств, включая публикации в ведущих международных журналах по пищевой инженерии, промышленной автоматизации и управлению производством за период 2020–2025 годов. Применялся метод кейс-анализа для изучения опыта внедрения автоматизированных систем на конкретных предприятиях пищевой промышленности, включая российские компании «Черкизово», «Мираторг», международные корпорации Danone, PepsiCo, Nestle. Компаративный анализ использовался для сопоставления технологических стратегий предприятий различных стран и выявления национальных особенностей процессов автоматизации.

Эмпирическую базу исследования составили статистические данные Федеральной службы государственной статистики РФ о динамике промышленного производства и инвестициях в основной капитал за 2020–2024 годы, отчеты Министерства промышленности и торговли РФ о состоянии и перспективах развития пищевой промышленности, аналитические материалы Международной федерации робототехники (IFR) о внедрении промышленных роботов, исследования рынка автоматизации пищевой промышленности компаний MarketsandMarkets, Meticulous Research, данные о цифровой трансформации промышленности от аналитических агентств Gartner и IDC.

Для анализа технологических аспектов использовались технические спецификации и документация ведущих поставщиков решений для автоматизации пищевой промышленности, включая системы MES от компаний Siemens, Rockwell Automation, Wonderware, платформы промышленного IoT от Microsoft Azure, Amazon Web Services, решения машинного зрения от Cognex, Keyence, роботизированные системы от ABB, KUKA, Fanuc. Изучались стандарты и нормативные документы в области автоматизации и безопасности пищевых производств, включая ГОСТ Р 51705.1-2001 по системам ХАССП, ГОСТ Р ИСО 22000-2019 по системам менеджмента безопасности пищевой продукции, международные стандарты ISA-95 по интеграции систем управления предприятием и производством.

Методология оценки экономической эффективности автоматизации основывалась на расчете показателей возврата инвестиций (ROI), совокупной стоимости владения (TCO), анализе сроков окупаемости проектов автоматизации с учетом специфики пищевой промышленности, включая требования к гигиене, прослеживаемости и соответствию регуляторным требованиям.

## 2. Результаты и обсуждение

Современная парадигма автоматизации пищевой промышленности формируется под влиянием концепции четвертой промышленной революции, предполагающей синтез физических и цифровых технологий в единые киберфизические системы, способные к самоорганизации, адаптации и непрерывной оптимизации производственных процессов на основе анализа больших данных и применения искусственного интеллекта, при чем согласно исследованию TAdviser, в 2023 году глобальные затраты на искусственный интеллект составили около 189 миллиардов долларов, а к 2033 году этот показатель может увеличиться до 4,77 триллиона долларов.<sup>6</sup> Трансформация производственных процессов в пищевой промышленности происходит неравномерно, демонстрируя существенные различия между технологическими лидерами, внедряющими полностью автоматизированные «безлюдные» производства, и предприятиями, находящимися на начальных этапах цифровизации, ограничивающимися локальной автоматизацией отдельных технологических операций.

Эволюция автоматизации пищевых производств прошла несколько качественных этапов, каждый из которых характеризовался доминированием определенных технологических решений и управленческих подходов, при чем первоначальная механизация ручного труда в середине XX века сменилась внедрением программируемых логических контроллеров в 1970–1980-х годах, затем последовало распространение SCADA-систем и АСУ ТП в 1990–2000-х годах, а современный этап, начавшийся в 2010-х годах, характеризуется интеграцией производственных систем с корпоративными информационными системами и переходом к концепции «умного производства» [11]. Специфика пищевой промышленности, связанная с работой с биологическим сырьем переменного состава, жесткими требованиями к гигиене и безопасности продукции, коротким сроком годности многих продуктов, предъявляет особые требования к системам автоматизации, которые должны обеспечивать не только высокую производительность, но и гибкость переналадки, прослеживаемость всех этапов производства, соответствие международным стандартам качества и безопасности.

Анализ современного рынка технологий автоматизации для пищевой промышленности выявляет доминирование нескольких ключевых технологических трендов, формирующих облик производств нового поколения. Системы управления производственными процессами класса MES (Manufacturing Execution System) становятся центральным элементом цифровой

<sup>6</sup> TAdviser. Четвертая промышленная революция (Industry Индустрия 4.0). — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A7%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D0%B8%D1%8F\\_\(Industry\\_%D0%98%D0%BD%D0%B4%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F\\_4.0\)#:~:text=%D0%A7%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%8F%20%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%B%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D0%B8%D1%8F%20\(%D0%98%D0%BD%D0%B4%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F%204.0.%D1%81%20%D0%BF%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D0%BE%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%B2%20%D0%B3%D0%BB%D0%BE%D0%B1%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%83%D1%8E](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A7%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D0%B8%D1%8F_(Industry_%D0%98%D0%BD%D0%B4%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F_4.0)#:~:text=%D0%A7%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%8F%20%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%B%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D0%B8%D1%8F%20(%D0%98%D0%BD%D0%B4%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F%204.0.%D1%81%20%D0%BF%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D0%BE%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%B2%20%D0%B3%D0%BB%D0%BE%D0%B1%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%83%D1%8E) (дата обращения 17.09.2025).

архитектуры предприятий, обеспечивая оперативное планирование, диспетчеризацию, контроль качества и сбор данных о ходе производства в режиме реального времени, при чем согласно исследованию рынка MES-систем, мировой рынок цифровых платформ для управления производственным процессом вырос на 5,4 % до 17,65 миллиарда долларов в 2024 году.<sup>7</sup> Внедрение MES-систем на пищевых предприятиях позволяет достичь снижения объема брака на 15–25 %, сокращения времени переналадки оборудования на 20–30 %, повышения общей эффективности оборудования (ОЕЕ) до 85–90 % против типичных 60–70 % для неавтоматизированных производств [12].

Таблица 1

**Сравнительный анализ уровней автоматизации пищевых производств и их технологические характеристики**

Уровень автоматизации	Технологические компоненты	Функциональные возможности	Типичные показатели эффективности	Инвестиции на 1 000 м <sup>2</sup> производства	Примеры внедрения
Базовая механизация	Конвейеры, дозаторы, упаковочные машины	Механизация ручных операций, локальное управление	ОЕЕ 40–50 %, брак 5–8 %, простои 20–30 %	0,5–1,5 млн руб.	Малые региональные производители
Локальная автоматизация	ПЛК, локальные SCADA, датчики	Автоматизация отдельных участков, сбор данных	ОЕЕ 55–65 %, брак 3–5 %, простои 15–20 %	2–5 млн руб.	Средние российские предприятия
Интегрированная автоматизация	MES, ERP, централизованная SCADA	Сквозное управление производством, интеграция с бизнес-процессами	ОЕЕ 70–80 %, брак 1–3 %, простои 8–12 %	8–15 млн руб.	«Мираторг», Danone Россия
Цифровое производство	IoT, Big Data, облачные платформы	Предиктивная аналитика, оптимизация в реальном времени	ОЕЕ 80–90 %, брак <1 %, простои 5–8 %	20–40 млн руб.	PepsiCo, Nestle
Интеллектуальное производство	AI, цифровые двойники, роботизация	Самооптимизация, адаптивное управление, минимальное участие человека	ОЕЕ >90 %, брак <0,5 %, простои <5 %	50–100 млн руб.	«Черкизово» (завод в Кашире)

Составлено автором на основе анализа материалов<sup>8</sup>

Данные таблицы 1 свидетельствуют о существенной дифференциации уровней автоматизации в пищевой промышленности, при чем переход на каждый последующий уровень требует кратного увеличения инвестиций, но обеспечивает качественный скачок в операционной эффективности, снижении потерь и повышении качества продукции.

Промышленный интернет вещей (Industrial Internet of Things, IIoT) представляет собой технологическую основу для создания «умных» производств, обеспечивая сбор и анализ данных от тысяч датчиков и исполнительных устройств в режиме реального времени, при чем согласно прогнозам, к концу 2025 года более 50 миллиардов устройств будут подключены к промышленному интернету вещей и начнут генерировать 79,4 зеттабайта данных в год.<sup>9</sup> В пищевой промышленности технологии IIoT находят применение для мониторинга

<sup>7</sup> TAdviser. MES-системы — функции и преимущества. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:MES-%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B-%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8\\_%D0%B8\\_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B8%D0%BC%D1%83%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B0](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:MES-%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B-%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%B8_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B8%D0%BC%D1%83%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B0) (дата обращения 17.09.2025).

<sup>8</sup> McKinsey Global Institute. What's now and next in analytics, AI, and automation. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://datanomics.ru/news/obzor-mckinsey-global-institute/> (дата обращения 17.09.2025).

Ассино. Автоматизация предприятий в пищевой промышленности. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://assino.ru/otrasly/pishhevaya-promyshlennost/> (дата обращения 17.09.2025).

<sup>9</sup> Digital Energy. McKinsey: 10 главных технологических трендов до 2030 года. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.digital-energy.ru/2021/07/27/industry/mckinsey-10-glavnykh-tekhnologicheskikh-trendov-d/> (дата обращения 17.09.2025).

температурно-влажностных режимов на всех этапах производства и хранения, контроля параметров технологических процессов с точностью до долей процента, предиктивного обслуживания оборудования на основе анализа вибрации, температуры, энергопотребления, оптимизации энергопотребления и управления ресурсами предприятия.

Системы машинного зрения на основе нейронных сетей революционизируют процессы контроля качества в пищевой промышленности, обеспечивая распознавание дефектов с точностью 99,5–99,9 %, что существенно превышает возможности человеческого контроля, при чем современные системы способны анализировать до 1 000 единиц продукции в минуту, выявляя не только видимые дефекты упаковки, но и отклонения в цвете, форме, размере продукта, наличие посторонних включений размером от 0,5 мм [13]. Интеграция систем машинного зрения с робототехническими комплексами позволяет создавать полностью автоматизированные линии сортировки, где роботы-манипуляторы удаляют дефектную продукцию со скоростью до 120 операций в минуту с точностью позиционирования  $\pm 0,1$  мм.

Роботизация производственных процессов в пищевой промышленности демонстрирует экспоненциальный рост, при чем по данным Международной федерации робототехники, в 2023 году в глобальном масштабе было введено в эксплуатацию более 541 тысячи новых промышленных роботов, а общее количество работающих роботов достигло 4,28 миллиона единиц.<sup>10</sup> Специализированные роботы для пищевой промышленности, соответствующие требованиям гигиенического дизайна и способные работать в условиях повышенной влажности и частой санитарной обработки, выполняют операции паллетирования и депаллетирования с производительностью до 2 000 упаковок в час, высокоскоростной упаковки продукции в потребительскую и транспортную тару, прецизионной резки и порционирования мясной и рыбной продукции с отклонением по весу не более  $\pm 2$  %, декорирования кондитерских изделий с воспроизведением сложных узоров.

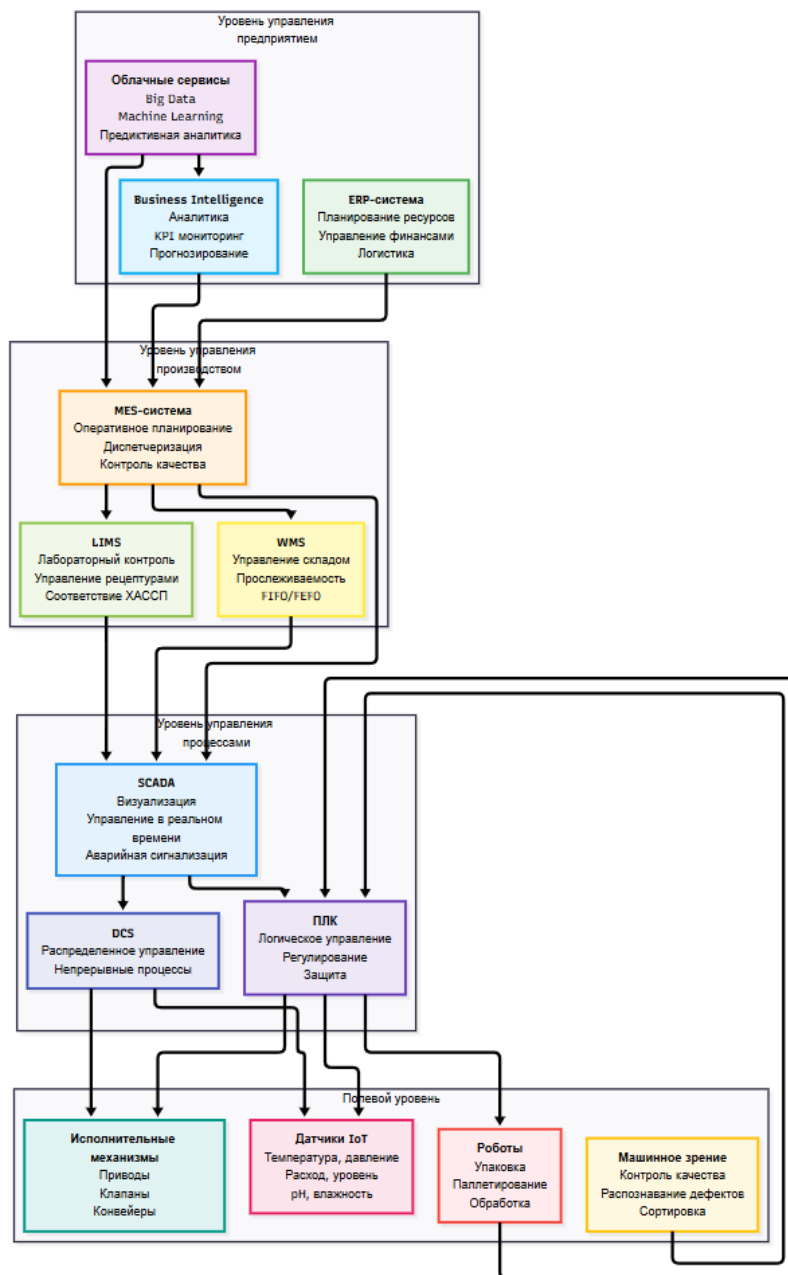
Концепция цифровых двойников (Digital Twins) получает все большее распространение в пищевой промышленности как инструмент оптимизации производственных процессов и предиктивного управления качеством, при чем цифровой двойник представляет собой высокоточную виртуальную модель физического объекта или процесса, непрерывно обновляемую данными от IoT-датчиков и способную предсказывать поведение реальной системы в различных сценариях.<sup>11</sup> Применение цифровых двойников в пищевой промышленности позволяет моделировать влияние изменения рецептур на характеристики готового продукта без проведения физических экспериментов, оптимизировать режимы тепловой обработки для достижения заданных органолептических свойств при минимальных энергозатратах, прогнозировать износ оборудования и планировать техническое обслуживание с точностью до 85–90 %, тестировать новые производственные сценарии и оценивать их экономическую эффективность без остановки реального производства.

Российский опыт внедрения передовых технологий автоматизации в пищевой промышленности демонстрирует как успешные примеры создания высокотехнологичных производств мирового уровня, так и существенное отставание отрасли в целом от ведущих индустриальных стран. Группа «Черкизово» реализовала уникальный для России и Европы

<sup>10</sup> TAdviser. Industry 4.0 и роботизация. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A7%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D0%B8%D1%8F\\_\(Industry\\_%D0%98%D0%BD%D0%B4%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F\\_4.0\)](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A7%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D0%B8%D1%8F_(Industry_%D0%98%D0%BD%D0%B4%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F_4.0)) (дата обращения 17.09.2025).

<sup>11</sup> Ведомости. Заводы заводят цифровые двойники. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.vedomosti.ru/technologies/trendsru/articles/2024/11/26/1076766-zavodi-tsifrovie-dvoyniki> (дата обращения 17.09.2025).

проект полностью роботизированного завода по производству сырокопченых колбас в Кашире, где участие человека в производственном процессе минимизировано, а мощность составляет до 100 тонн продукции в сутки при инвестициях около 7 миллиардов рублей.<sup>12</sup>



**Рисунок 1.** Архитектура интегрированной системы автоматизации пищевого предприятия на основе концепции Industry 4.0 (составлено автором на основе анализа материалов<sup>13</sup>)

<sup>12</sup> TAdviser. Завод Черкизово в Кашире (производство без людей). — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82:%D0%97%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B4\\_%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B2\\_%D0%9A%D0%B0%D1%88%D0%B8%D1%80%D0%B5\\_%28%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE\\_%D0%B1%D0%B5%D0%B7\\_%D0%BB%D1%8E%D0%B4%D0%B5%D0%B9%29](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82:%D0%97%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B4_%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B2_%D0%9A%D0%B0%D1%88%D0%B8%D1%80%D0%B5_%28%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE_%D0%B1%D0%B5%D0%B7_%D0%BB%D1%8E%D0%B4%D0%B5%D0%B9%29) (дата обращения 17.09.2025).

<sup>13</sup> ISA-95 Enterprise-Control System Integration Standard. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.isa.org/standards> (дата обращения 17.09.2025).

Внедрение системы автоматизации процессов планирования производства позволило компании достичь 30-процентного роста продаж и 20-процентного снижения списания остатков сырья уже в первый год эксплуатации.<sup>14</sup>

На рисунке 1 представлена концептуальная модель интегрированной системы автоматизации современного пищевого предприятия.

Представленная на рисунке 1 архитектура демонстрирует многоуровневую иерархию систем автоматизации, где каждый уровень выполняет специфические функции, а интеграция между уровнями обеспечивает сквозную цифровизацию всех процессов предприятия от полевых устройств до систем принятия стратегических решений.

Международный опыт автоматизации пищевой промышленности демонстрирует существенные различия в подходах и темпах технологической трансформации между регионами и странами. Китай, являющийся крупнейшим производителем пищевой продукции с долей 28,4 % мирового промышленного производства, активно внедряет технологии Industry 4.0, при чем правительство КНР инвестирует миллиарды долларов в создание «умных фабрик» и развитие отечественных технологий автоматизации. Европейский союз фокусируется на устойчивом развитии и циркулярной экономике, внедряя технологии для минимизации пищевых отходов и оптимизации использования ресурсов, при чем согласно исследованию Food Logistics, пищевые отходы составляют около 4 % выбросов парниковых газов в США, что эквивалентно выбросам от 54 миллионов автомобилей.<sup>15</sup> Соединенные Штаты лидируют в разработке и внедрении искусственного интеллекта и машинного обучения для оптимизации цепочек поставок и персонализации продукции под требования потребителей.

Экономическая эффективность внедрения технологий автоматизации в пищевой промышленности варьируется в широких пределах в зависимости от масштаба производства, типа продукции и глубины автоматизации, при чем согласно исследованию Boston Consulting Group, в автомобильной промышленности США общие затраты на работника составляют 25 долларов в час, а средние затраты на робототехнику составляют 8 долларов в час, что демонстрирует трехкратную экономию при роботизации [14]. Для пищевой промышленности характерны следующие показатели окупаемости инвестиций: системы машинного зрения окупаются за 12–18 месяцев при снижении потерь от брака на 80–90 %, роботизированные линии упаковки демонстрируют ROI 200–300 % за 3–4 года при двухсменной работе, внедрение MES-систем обеспечивает возврат инвестиций за 2–3 года при повышении ОЕЕ на 15–20 процентных пунктов.

Внедрение систем обеспечения безопасности пищевой продукции на основе принципов ХАССП (Hazard Analysis and Critical Control Points) является обязательным требованием для всех предприятий пищевой промышленности согласно Техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 021/2011, при чем автоматизация процессов мониторинга критических контрольных точек позволяет обеспечить непрерывный контроль параметров безопасности с точностью и частотой, недостижимыми при ручном контроле.<sup>16</sup> Современные автоматизированные системы ХАССП интегрируются с MES и LIMS системами, обеспечивая автоматическую

<sup>14</sup> K2Tech. Настоящее и будущее цифровизации пищевой промышленности. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: [https://k2.tech/press\\_releases/nastoyashhee-i-budushhee-czifrovizaczii-pishhevoj-promyshlennosti/](https://k2.tech/press_releases/nastoyashhee-i-budushhee-czifrovizaczii-pishhevoj-promyshlennosti/) (дата обращения 17.09.2025).

<sup>15</sup> LeverX. Food & Beverage Industry Challenges. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://leverx.com/newsroom/plm-for-the-food-industry> (дата обращения 17.09.2025).

<sup>16</sup> ГОСТ Р 51705.1-2001. Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200007424> (дата обращения 17.09.2025).

регистрацию всех измерений в критических контрольных точках с частотой до 1 раза в секунду, мгновенное оповещение о выходе параметров за критические пределы через multiple каналы коммуникации, автоматическую генерацию отчетности для контролирующих органов в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 22000-2019, блокировку выпуска несоответствующей продукции через интеграцию с системами управления складом.

Таблица 2

**Матрица применения технологий  
автоматизации в подотраслях пищевой промышленности**

Подотрасль	Приоритетные технологии	Специфические решения	Достижимые эффекты	Уровень внедрения в России	Лидеры внедрения
Молочная промышленность	MES, LIMS, IoT-мониторинг	Автоматизация СIP-мойки, контроль соматических клеток, управление созреванием сыров	Снижение потерь молока на 15 %, увеличение выхода сыра на 3–5 %, сокращение времени анализов на 70 %	35–40 % крупных предприятий	Danone, «Молвест», PepsiCo WBD
Мясопереработка	Роботизация, машинное зрение, RFID	Роботы для разделки туш, рентген-контроль костей, трекинг партий	Повышение выхода мяса на 5–8 %, снижение травматизма на 60 %, 100 % прослеживаемость	25–30 % крупных предприятий	«Черкизово», «Мираторг», «Агрозко»
Хлебопекарная промышленность	Системы дозирования, климат-контроль, AGV	Автоматическое тестоведение, управление расстойкой, роботизированная выпечка	Стабильность качества 95 %, экономия сырья 3–5 %, снижение возвратов на 40 %	15–20 % предприятий	«Хлебпром», «Каравай», Fazer
Кондитерская промышленность	Прецизионное дозирование, темперирование, 3D-печать	Автоматическое глазирование, декорирование, контроль веса	Точность дозирования $\pm 0,5$ %, снижение перерасхода какао на 8 %, ускорение разработки новинок в 3 раза	40–45 % крупных производителей	Mars, Mondelez, «Объединенные кондитеры»
Производство напитков	Высокоскоростные линии, инспекционные системы, блокчейн	Контроль уровня налива, детекция посторонних включений, антиконтрафакт	Производительность до 80 000 бут/час, детекция дефектов 99,9 %, защита от подделок	50–55 % крупных заводов	Coca-Cola, PepsiCo, «Балтика»
Масложировая промышленность	Непрерывные процессы, DCS, аналитика качества	Автоматизация экстракции, рафинации, купажирования	Выход масла +2–3 %, энергоэффективность +15 %, стабильность качества	30–35 % предприятий	«ЭФКО», «Русagro», Cargill

Составлено автором на основе анализа материалов<sup>17</sup>

Проблемы и барьеры на пути автоматизации пищевой промышленности в России включают высокую стоимость импортного оборудования и программного обеспечения, усугубившуюся в условиях санкционных ограничений, при чем по данным исследования рынка, 64 % российских компаний уже приступили к импортозамещению технологий, однако

<sup>17</sup> Пищевая промышленность России. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.oborudunion.ru/russia/company/pischevoe-oborudovanie> (дата обращения 17.09.2025).

WiseAdvice-IT. Автоматизация пищевой промышленности. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://wiseadvice-it.ru/uslugi-1s/otrasli/proizvodstvo/pischevaya-promyshlennost/> (дата обращения 17.09.2025).

Dinord. Автоматизация пищевой промышленности. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://dinord.ru/otrasli/pishchevaya-promyshlennost/> (дата обращения 17.09.2025).

Коммерсантъ. Danone и PepsiCo возглавили топ-30. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6123443> (дата обращения 17.09.2025).

на отечественные комплектующие и оборудование приходится не более 30 % продаж.<sup>18</sup> Дефицит квалифицированных специалистов, способных проектировать, внедрять и обслуживать современные автоматизированные системы, остается критическим фактором, сдерживающим цифровую трансформацию отрасли, при чем согласно данным hh.ru, в 2023 году российскому бизнесу не хватало порядка 4,8 миллиона человек, а с кадровым голодом столкнулись 85 % компаний.<sup>19</sup>

Таблица 2 представляет анализ ключевых технологий автоматизации и их применения в различных подотраслях пищевой промышленности.

Анализ данных таблицы 2 выявляет существенную неравномерность внедрения технологий автоматизации как между подотраслями, так и внутри них, при чем наиболее высокий уровень автоматизации демонстрируют производства напитков и кондитерских изделий, что обусловлено массовостью производства и относительной стандартизацией процессов, в то время как мясопереработка и хлебопечение отстают из-за сложности автоматизации работы с неоднородным биологическим сырьем.

Перспективные направления развития автоматизации пищевой промышленности связаны с внедрением технологий искусственного интеллекта для оптимизации всей цепочки создания стоимости от поля до потребителя. Генеративный искусственный интеллект находит применение для разработки новых рецептов с заданными характеристиками, при чем системы способны анализировать миллионы комбинаций ингредиентов и предсказывать органолептические свойства продукта с точностью 85–90 %.<sup>20</sup> Квантовые вычисления открывают возможности для решения задач оптимизации логистических цепочек с учетом тысяч переменных в режиме реального времени, моделирования сложных биохимических процессов при разработке функциональных продуктов питания. Технологии блокчейн обеспечивают создание прозрачных и неизменяемых записей о происхождении и движении продукции, что критически важно для борьбы с контрафактом и обеспечения доверия потребителей.

Влияние автоматизации на рынок труда в пищевой промышленности носит двойственный характер: с одной стороны происходит сокращение потребности в низкоквалифицированном ручном труде, с другой — растет спрос на специалистов по автоматизации, данным, робототехнике, при чем согласно прогнозу McKinsey, к 2030 году около 400 миллионов человек на планете могут потерять работу из-за автоматизации, но одновременно на каждые 10 автоматизированных рабочих мест будет создаваться одно новое рабочее место в сфере программирования, обслуживания и управления автоматизированными системами.<sup>21</sup>

Трансформация требований к компетенциям работников пищевой промышленности включает переход от выполнения рутинных операций к управлению сложными автоматизированными системами, необходимость понимания цифровых технологий и умения работать с данными, развитие навыков решения нестандартных задач и управления изменениями.

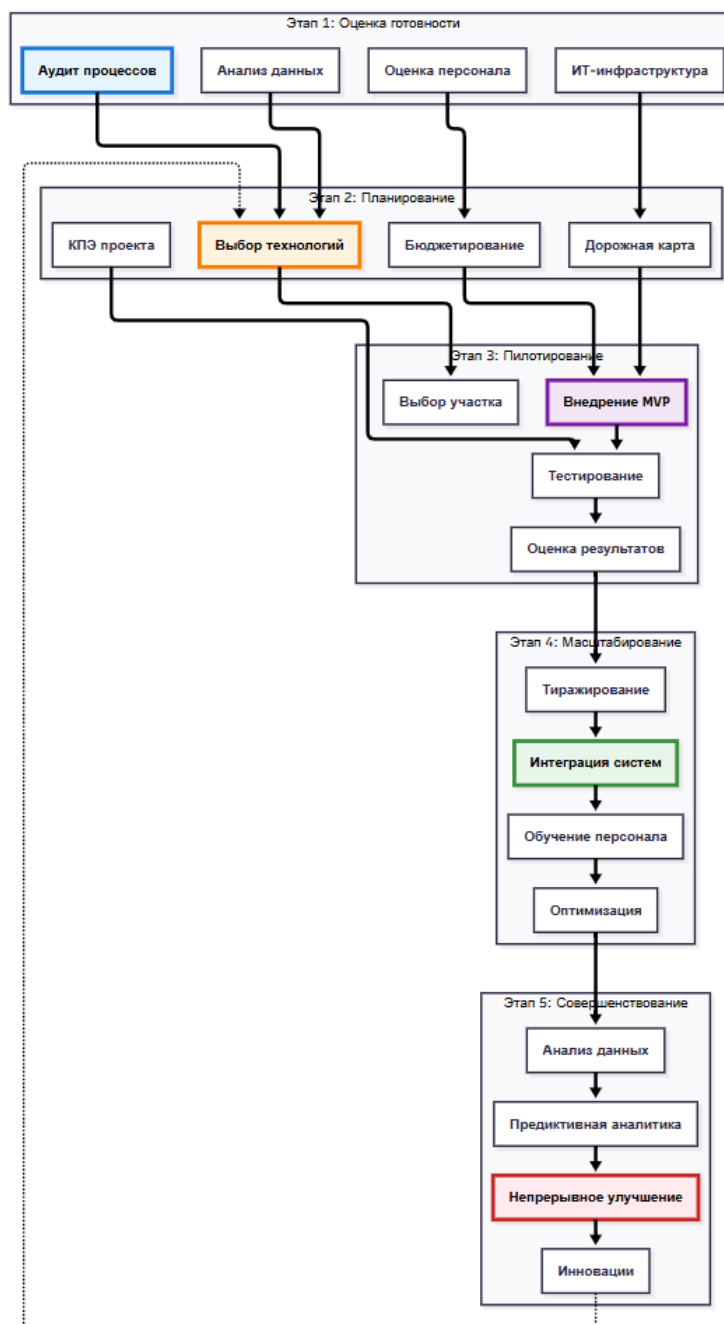
<sup>18</sup> Sber.pro. Итоги бизнеса 2024 года и прогноз на 2025. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://sber.pro/publication/rost-i-pereorientatsiya-kakim-bil-2024-god-dlya-rossiiskogo-biznesa-i-chego-zhdut-v-2025-m/> (дата обращения 17.09.2025).

<sup>19</sup> Российский рынок HR-tech 2024. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.gmcs.ru/press-center/press-about/rossiyskiy-rynok-hr-tech-2024/> (дата обращения 17.09.2025).

<sup>20</sup> CNews. Искусственный интеллект 2024. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: [https://www.cnews.ru/rviews/iskusstvennyj\\_intellekt\\_2024](https://www.cnews.ru/rviews/iskusstvennyj_intellekt_2024) (дата обращения 17.09.2025).

<sup>21</sup> РБК Тренды. Индустрия 4.0. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5e740c5b9a79470c22dd13e7> (дата обращения 17.09.2025).

На рисунке 2 представлена динамическая модель внедрения технологий автоматизации на пищевом предприятии.



**Рисунок 2.** Этапы цифровой трансформации пищевого предприятия и ключевые активности (разработано автором на основе анализа материалов<sup>22</sup>)

<sup>22</sup> McKinsey. Исследование McKinsey: 10 важнейших технологических трендов. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.mckinsey.com/ru/our-insights/mckinsey-research-top-10-technology-trends> (дата обращения 17.09.2025).

KT-Team. Цифровая трансформация 2024. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.kt-team.ru/blog/digital-transformation-2024-tech-investments> (дата обращения 17.09.2025).

ASOFT. Автоматизация и роботизация производства. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://asoft.by/novosti/avtomatizaciya-i-robotizaciya-proizvodstva-klyuch-k-uspehu-v-sovremennoy-promyshlennosti> (дата обращения 17.09.2025).

Модель на рисунке 2 демонстрирует итеративный характер процесса цифровой трансформации, где каждый этап создает основу для следующего уровня технологической зрелости, а обратная связь от этапа совершенствования позволяет корректировать стратегию и внедрять новые технологии.

Государственная поддержка автоматизации пищевой промышленности в России реализуется через различные механизмы, включая программы льготного кредитования проектов технологической модернизации под 3–5 % годовых, субсидирование части затрат на приобретение отечественного оборудования до 50 % стоимости, создание промышленных технопарков с готовой инфраструктурой для размещения автоматизированных производств, при чем согласно данным Минпромторга России, в рамках национального проекта «Производительность труда» к 2024 году поддержку получили более 5 000 предприятий.<sup>23</sup> Развитие отечественных технологий автоматизации стимулируется через механизмы импортозамещения, включающие запрет на закупку импортного оборудования при наличии российских аналогов для государственных предприятий, налоговые льготы для компаний-разработчиков промышленного программного обеспечения, гранты на НИОКР в области промышленной автоматизации до 500 миллионов рублей.

Экологические аспекты автоматизации пищевой промышленности приобретают возрастающее значение в контексте глобальной повестки устойчивого развития. Автоматизированные системы управления энергопотреблением позволяют снизить расход электроэнергии на 15–25 % за счет оптимизации работы холодильного оборудования, компрессоров, вентиляции, интеллектуальные системы управления водными ресурсами сокращают водопотребление на 20–30 % через оптимизацию СIP-мойки и рециркуляцию технической воды, предиктивное управление производством минимизирует пищевые отходы на 40–50 % за счет точного планирования и оптимизации сроков годности.<sup>24</sup> Внедрение систем мониторинга углеродного следа на основе IoT и блокчейн позволяет отслеживать выбросы парниковых газов на всех этапах жизненного цикла продукта с точностью до 95 % и оптимизировать логистические цепочки для минимизации транспортных выбросов.

Стандартизация и сертификация в области автоматизации пищевых производств играет критическую роль в обеспечении совместимости различных систем и соответствия требованиям безопасности. Новый ГОСТ Р 51705.1-2024 «Системы менеджмента качества. Управление качеством и безопасностью пищевых продуктов на основе принципов ХАССП» устанавливает требования к автоматизированным системам мониторинга критических контрольных точек.<sup>25</sup> Международные стандарты ISA-95 и ISA-88 определяют архитектуру интеграции систем управления предприятием и производством, обеспечивая возможность построения открытых масштабируемых решений. Сертификация по ISO 22000:2018 становится обязательным требованием для экспортеров пищевой продукции, стимулируя внедрение автоматизированных систем управления безопасностью.

Инвестиционная привлекательность проектов автоматизации в пищевой промышленности остается высокой несмотря на макроэкономическую нестабильность, при чем согласно данным

<sup>23</sup> Минпромторг России. Национальный проект. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://minpromto rg.gov.ru> (дата обращения 17.09.2025).

<sup>24</sup> Global Wellness Institute. Workplace Wellbeing Initiative Trends. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://globalwellnessinstitute.org/global-wellness-institute-blog/2025/03/28/workplace-wellbeing-initiative-trends-for-2025/> (дата обращения 17.09.2025).

<sup>25</sup> Регламент ЭКСПЕРТ ГАРАНТ. Новый стандарт системы ХАССП 2024 года. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: [https://reg.garantx.ru/s\\_n/haccp/novyj-standart-sistemy-hassp-gost-r-51705-1-2024/](https://reg.garantx.ru/s_n/haccp/novyj-standart-sistemy-hassp-gost-r-51705-1-2024/) (дата обращения 17.09.2025).

Росстата, инвестиции в основной капитал в России в 2024 году выросли на 7,4 % и составили 39,5 триллиона рублей, при этом значительная доля приходится на проекты технологической модернизации промышленности.<sup>26</sup> Венчурные инвестиции в стартапы, разрабатывающие технологии для пищевой промышленности, включая искусственный интеллект, робототехнику, альтернативные белки, достигли 5,4 миллиарда долларов глобально в 2024 году.<sup>27</sup>

Кадровое обеспечение процессов автоматизации становится критическим фактором успеха цифровой трансформации пищевых предприятий. Современные требования к специалистам включают междисциплинарные компетенции на стыке пищевых технологий, автоматизации, информационных технологий и управления данными. Ведущие университеты запускают специализированные программы подготовки инженеров для цифровой пищевой промышленности, включающие изучение технологий Industry 4.0, машинного обучения, робототехники применительно к специфике пищевых производств. Корпоративные университеты крупных компаний, таких как Nestle Academy, PepsiCo University, создают программы переподготовки действующих сотрудников для работы с автоматизированными системами.

Региональные особенности внедрения автоматизации в российской пищевой промышленности определяются уровнем развития инфраструктуры, доступностью квалифицированных кадров и близостью к рынкам сбыта. Московская область и Санкт-Петербург лидируют по количеству высокоавтоматизированных производств благодаря развитой логистике и доступу к технологиям, Краснодарский край и Белгородская область активно автоматизируют переработку сельскохозяйственного сырья местного производства, Сибирский и Дальневосточный федеральные округа фокусируются на автоматизации производств для обеспечения продовольственной безопасности удаленных территорий.

## Выводы

Анализ современных тенденций автоматизации технологических процессов в пищевой промышленности выявил фундаментальную трансформацию отрасли под влиянием технологий четвертой промышленной революции, характеризующуюся переходом от изолированных автоматизированных систем к интегрированным киберфизическим производственным экосистемам, где физические процессы неразрывно связаны с цифровыми моделями через промышленный интернет вещей, обеспечивая возможность оптимизации в режиме реального времени на основе анализа больших данных и применения искусственного интеллекта. Исследование показало, что современный этап автоматизации качественно отличается от предыдущих возможностью создания самоорганизующихся производственных систем, способных адаптироваться к изменениям спроса, характеристик сырья и внешних условий без вмешательства человека, при этом обеспечивая беспрецедентный уровень безопасности, качества и прослеживаемости продукции. Выявлено, что лидирующие предприятия, внедрившие технологии Industry 4.0, демонстрируют повышение общей эффективности оборудования до 90–95 %, снижение уровня брака до 0,5 %, сокращение времени вывода новых продуктов на рынок в 2–3 раза, что обеспечивает им существенные конкурентные преимущества на глобальном рынке.

<sup>26</sup> Интерфакс. Инвестиции в основной капитал в России. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.interfax.ru/business/1012581> (дата обращения 17.09.2025).

<sup>27</sup> ETprotein. Эволюция автоматизации пищевой промышленности. — [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.etprotein.com/ru/эволюция-автоматизации-пищевой-промышленности> (дата обращения 17.09.2025).

Систематизация и классификация современных технологических решений автоматизации позволила выделить пять уровней технологической зрелости пищевых предприятий — от базовой механизации до интеллектуального производства, при чем каждый уровень характеризуется специфическим набором технологий, требуемыми инвестициями и достигаемыми эффектами. Установлено, что российская пищевая промышленность демонстрирует существенную неоднородность уровней автоматизации: в то время как отдельные предприятия, такие как роботизированный завод «Черкизово» в Кашире, соответствуют мировому уровню технологического развития, большинство предприятий находится на уровне локальной автоматизации с показателями ОЕЕ 55–65 % против 80–90 % у мировых лидеров. Анализ применения технологий в различных подотраслях выявил, что наибольший прогресс достигнут в производстве напитков и кондитерских изделий благодаря высокой степени стандартизации процессов, в то время как мясопереработка и хлебопечение требуют разработки специализированных решений для работы с биологическим сырьем переменного качества. Экономический анализ показал, что инвестиции в комплексную автоматизацию производства составляют от 20 до 100 миллионов рублей на 1000 квадратных метров производственных площадей в зависимости от уровня технологической сложности, при этом срок окупаемости варьируется от 2 до 5 лет с показателями ROI 150–400 %.

Разработанная концептуальная модель интегрированной системы автоматизации пищевого предприятия демонстрирует необходимость построения многоуровневой архитектуры, включающей полевой уровень с IoT-датчиками и исполнительными механизмами, уровень управления процессами на базе SCADA и ПЛК, уровень управления производством с MES, WMS и LIMS системами, уровень управления предприятием с ERP и BI системами, а также облачный уровень для реализации технологий больших данных и искусственного интеллекта. Модель показывает критическую важность обеспечения бесшовной интеграции между всеми уровнями для достижения сквозной цифровизации и создания единого информационного пространства предприятия. Предложенная пятиэтапная модель внедрения технологий автоматизации, включающая оценку готовности, планирование, пилотирование, масштабирование и непрерывное совершенствование, обеспечивает систематический подход к цифровой трансформации с минимизацией рисков и максимизацией создаваемой ценности.

Исследование выявило ключевые факторы успеха и барьеры автоматизации пищевой промышленности в российских условиях, включая критическую зависимость от импортных технологий при ограниченных возможностях отечественного машиностроения, острый дефицит специалистов с междисциплинарными компетенциями в области пищевых технологий и цифровизации, недостаточный уровень стандартизации и отсутствие отраслевых референсных архитектур, высокую стоимость заемного капитала, ограничивающую инвестиционные возможности средних и малых предприятий. Вместе с тем выявлены значительные возможности для ускорения автоматизации, связанные с государственной поддержкой проектов импортозамещения и повышения производительности труда, растущим внутренним спросом на качественную и безопасную пищевую продукцию, развитием экосистемы технологических стартапов и появлением отечественных решений в области промышленного программного обеспечения. Практическая значимость исследования определяется возможностью использования полученных результатов для формирования стратегий технологического развития предприятий, обоснования инвестиций в автоматизацию с учетом отраслевой специфики, разработки программ подготовки кадров для цифровой экономики и создания национальных стандартов в области автоматизации пищевых производств.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сердюкова, Е.Я. Современные тенденции в автоматизации технологических процессов пищевых производств / Е.Я. Сердюкова, А.В. Калайдо // Сборник тезисов докладов участников пула научно-практических конференций, Керчь, 25–28 января 2021 года / под общ. ред. Масюткина Е.П.; Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского; Керченский государственный морской технологический университет; Луганский государственный педагогический университет. — Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2021. — С. 218–220. — EDN PDNFZM.
2. Жакова, К.И. Современные тенденции развития технологий пищевых производств / К.И. Жакова, Н.П. Миронова — DOI 10.47612/2073-4794-2022-15-3(57)-6-12. // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2022. — Т. 15, № 3(57). — С. 6–12 — EDN JDCVYT.
3. Омельченко, О.М. Автоматизация процессов производства хлебобулочных изделий: современные тенденции и перспективы развития / О.М. Омельченко // Хлебопечение России. — 2024. — Т. 68, № 4. — С. 17–27. — EDN VMMVKL.
4. Цифровизация производства пищевых продуктов / А.В. Кучумов, И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский [и др.] // Роговские чтения: сборник докладов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. — Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. — С. 262–270. — EDN ADEIYU.
5. Крючков, И.С. Применение цифровых технологий для оптимизации логистических процессов в пищевой промышленности: возможности и ограничения / И.С. Крючков // Человек. Общество. Инклюзия (Приложение). — 2023. — № S1-2. — С. 660–664. — EDN AWRUDS.
6. Поленников, Д.М. Анализ эффективности внедрения систем автоматизации в технологические процессы хлебопекарного производства / Д.М. Поленников // Хлебопечение России. — 2024. — Т. 68, № 3. — С. 64–77. — EDN PMOSDN.
7. Николаев, А.А. Состояние и перспективы инновационного развития пищевой промышленности России / А.А. Николаев // Вестник Академии знаний. — 2022. — № 53(6). — С. 194–197. — EDN YSQQKB.
8. Обеспечение эффективного развития мясоперерабатывающего предприятия на основе автоматизации хозяйственной деятельности / И.П. Богомолова, И.Н. Василенко, И.Е. Устюгова [и др.] — DOI 10.18334/ppib.10.3.118762. // Продовольственная политика и безопасность. — 2023. — Т. 10, № 3. — С. 497–516 — EDN DXRFSK.
9. Крапива, Т.В. Цифровая трансформация пищевой промышленности России — фудтех. Состояние и структура отрасли / Т.В. Крапива, Н.И. Давыденко, Л.А. Маюрникова — DOI 10.18334/ppib.11.3.121591. // Продовольственная политика и безопасность. — 2024. — Т. 11, № 3. — С. 519–540 — EDN RHELKB.
10. Аббасов, М.Ш. Автоматизация технологического оборудования рыбообработывающей промышленности / М.Ш. Аббасов — DOI 10.24412/2500-1000-2022-11-2-58-62. // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. — 2022. — № 11-2(74). — С. 58–62 — EDN NUIKFA.

11. Иванов В. Повышение качественных показателей систем автоматизации пищевых производств. / В. Иванов, В. Балюбаш, С. Красоткин // Автоматизация в пищевой промышленности — 2015 — № 5(59) — URL: <https://controlengrussia.com/otraslevye-resheniya/pishhevaya-promy-shlennost/itmo/>.
12. Шишкин, А.А. MES — ядро цифровизации пищевого предприятия / А.А. Шишкин — DOI 10.33920/pro-01-2304-02. // Управление качеством. — 2023. — № 4. — С. 11–14 — EDN VTLQAW.
13. Сатюкова, Л.П. Применение систем машинного зрения на основе нейронных сетей в пищевой промышленности / Л.П. Сатюкова, С.А. Шечков // Научный аспект. — 2022. — Т. 4, № 6. — С. 445–452. — EDN XPLTNU.
14. Кузнецова, А.Д. Экономическая эффективность внедрения роботов-манипуляторов в промышленное производство в развитых странах / А.Д. Кузнецова // Молодой ученый. — 2019. — № 40(278). — С. 58–60. — EDN HHHSSF.

**Goncharov Andrey Vitalievich**

K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University),  
Moscow, Russia  
E-mail: a.goncharov@mgutm.ru

## **Modern trends in automation of technological processes in the food industry**

**Abstract.** Modern economic realities of the food industry are characterized by a fundamental transformation of production processes under the influence of the fourth industrial revolution, the mass introduction of artificial intelligence technologies, robotics, the Internet of Things and digital twins, which is due to the need to increase competitiveness in the context of globalization of markets, tightening product safety requirements and a growing shortage of qualified personnel. The subject of the research is modern technologies for automation of production processes in the food industry, including MES and ERP systems, the Industrial Internet of Things, machine vision based on neural networks, robotic systems, digital twins of production lines, as well as organizational and economic aspects of their implementation at Russian and foreign enterprises in the industry. The theoretical foundations of Industry 4.0 are considered in relation to the specifics of food production, the evolution of approaches to automation from local APCS to integrated cyber-physical systems, international experience of digital transformation of leading companies in the industry and the features of the Russian path of technological modernization. Analysis of the evolution of automation in the food industry revealed the transition from fragmentary mechanization of individual operations to the creation of fully integrated production ecosystems, where physical processes are inextricably linked with digital models, providing an unprecedented level of control, optimization and adaptability of production. The key results of the study include systematization of modern automation technologies by production hierarchy levels, identification of critical factors for successful digital transformation of enterprises, analysis of the economic efficiency of implementing various technological solutions with ROI indicators from 150 % to 400 % depending on the scale and specifics of production. The developed conceptual model of an integrated automation system for a food enterprise demonstrates the architecture of interaction between technological levels from field devices to cloud analytics platforms, providing end-to-end traceability, predictive quality management and optimization of resource use. The scientific novelty of the study lies in a comprehensive analysis of the current stage of technological transformation of the food industry through the prism of the Industry 4.0 concept, systematization of technological solutions taking into account the specifics of various sub-sectors of food production, identification of the features of the Russian path of automation in the context of import substitution and development of methodological approaches to assessing the readiness of enterprises for digital transformation. The practical significance is determined by the possibility of using the research results to formulate strategies for the technological development of food enterprises, substantiate investment decisions in the field of automation, develop training programs for working with modern production technologies and create industry standards for digital transformation.

**Keywords:** food industry automation; Industry 4.0; digital twins; industrial internet of things; machine vision; MES systems; robotics; artificial intelligence; predictive analytics; HACCP